

## **SIMULASI NUMERIK DEPOSISI AEROSOL PARTIKEL PADA POROUS STRUKTUR BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* (CFD)**

Kusdianto\*, I. G. Wahyudi Mahendra P., R. Andini, T. Nurtono, Widiyastuti, S. Machmudah, S. Winardi

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Surabaya, 60111

\*E-mail : kusdianto@chem-eng.its.ac.id

### **Abstrak**

*Deposisi partikel didalam porous struktur substrate telah dikembangkan aplikasinya sebagai fotokatalitik, membran filter, dan template untuk material pendukung dalam bidang energi dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi optimum pada deposisi aerosol partikel pada substrat yang mempunyai struktur berpori berdasarkan simulasi numerik dengan software Computational Fluid Dynamics (CFD). Metode simulasi berbasis CFD digunakan sebagai alternatif untuk mereduksi beberapa variabel kondisi yang sulit dikontrol. Permodelan dengan menggunakan CFD ini meliputi tiga tahapan proses, yaitu pre-processing, processing, dan post-processing. Dimensi yang akan digunakan pada CFD ini adalah dengan permodelan 2 dimensi, dimana wall memiliki panjang 10 cm dan lebar 2,5 cm. Analisa yang dilakukan meliputi pola gerakan partikel, kecepatan gerakan partikel, dan jumlah partikel pada porous struktur. Variabel yang ditetapkan pada permodelan ini adalah jarak partikel dengan substrat dan diameter pori dari substrat. Sedangkan ukuran partikel dan kecepatan fluida divariasikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola alir dan pergerakan partikel sangat ditentukan oleh kecepatan fluida. Selain itu, semakin kecil partikel yang digunakan maka semakin optimum deposisi yang terjadi, dimana deposisi optimum akan tercapai jika partikel tersebut mempunyai ukuran hingga 36 % dari ukuran pore nya. Deposisi yang optimum juga terjadi jika aliran fluidanya dalam kondisi laminar dan transisi.*

**Kata kunci:** aerosol, porous struktur, deposisi, CFD

### **Abstract**

*Deposition of particles in a porous structure substrate has been developed as applications of photocatalytic, filter membrane, and template for supporting materials in the field of energy and environment. This study aimed to obtain optimum conditions in aerosol deposition of particles on a substrate with a porous structure based on numerical simulations with Computational Fluid Dynamics (CFD) software. A CFD-based simulation method was used as an alternative to reduce some of condition variables that were difficult to control. Using CFD modeling required three stages of process, namely pre-processing, processing and post-processing. The dimension to be used in CFD modeling was two-dimensional, where the wall had a length of 10 cm and a width of 2.5 cm. An analysis was conducted on the pattern of particle movements, speed of movement of the particles, and the amount of particles in the porous structure. Variables defined in this modeling were the distances from particles to the substrate and pore diameter of the substrate. While the particle size and fluid velocity were varied. The results showed that flow pattern and movement of the particles were determined by the fluid's velocity. In addition, the smaller the used particles were, the more optimum the deposition that occurred was, which would be achieved if the particles had a size of up to 36% of pore size. The optimum deposition also occurred when the fluid's flow was in a state of laminar and transition.*

**Keywords:** aerosol, porous structure, deposition, CFD

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dengan menggunakan *porous structures* (PS) sebagai substrat semakin dikembangkan aplikasinya khususnya dalam bidang energi dan lingkungan. Hal ini dikarenakan PS mempunyai luas permukaan kontak yang tinggi dan dapat meningkatkan daya tahan dari struktur tersebut. Selain itu, partikel yang terdposisi didalam porous sangat sulit untuk lepas meskipun diberikan gaya dari luar (Kusdianto et al., 2014b) serta lebih sedikit yang terlepas jika dibandingkan dengan permukaan yang *non-porous* (Losic et al., 2008), sehingga sangat cocok untuk aplikasi di fotokatalitik (Ishikawa et al., 2001). Beberapa aplikasi penggunaan PS ini adalah sebagai *support* katalis (Matsumoto et al., 2000), membran filter (Kyotani et al., 2002), dan sebagai *template* pembuatan nanomaterial (Bogart et al., 2005). *Anodic Aluminum Oxide* (AAO) adalah contoh dari substrat yang mempunyai struktur berporous. AAO dibuat dengan proses anodisasi elektrokimia dari aluminium. Metode ini banyak digunakan karena prosesnya yang mudah, ukuran dan diameter *pore* dapat dikontrol dengan memvariasikan jenis elektrolit, pengaturan tegangan, dan waktu anodisasi.

Deposisi partikel kedalam PS dapat dilakukan dengan menggunakan dua cara, yaitu deposisi dalam fase liquid dan gas. Kusdianto et al. (2014b) berhasil mendeposisikan SiO<sub>2</sub> partikel (10-50 nm) kedalam AAO yang mempunyai diameter pori rata-rata sebesar 100 nm dengan menggunakan *electrophoretic deposition* (fase liquid). Ishikawa et al. (2001) juga berhasil mendeposisikan TiO<sub>2</sub> kedalam AAO substrat dengan menggunakan metode *electrodeposition*. Selanjutnya deposisi partikel dengan menggunakan fase gas juga telah dikembangkan dengan menggunakan *magnetron sputtering* (Wong-ek et al., 2010), deposisi dengan plasma (Losic et al., 2008), dan *atomic layer deposition* (Martinson et al., 2007). Sebagai contoh, AAO substrat yang dideposisikan dengan lapisan dari Ag, Au, Pd, Pt, dan Ti dilaporkan mampu meningkatkan properties AAO sebagai katalis dan juga dapat digunakan sebagai *surface-enhanced Raman spectrometer* (SERS). Namun metode deposisi fase gas yang telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya tersebut hanya menjelaskan metode deposisi yang berasal dari *gas-to-solid state* (*thin film*) yang memerlukan suatu reaksi untuk mendeposisikan suatu partikel, sehingga kurang representatif bila digunakan sebagai *particle-to-particle route* yang tidak memerlukan terjadinya suatu reaksi.

Kusdianto et al. (2014a) menginvestigasi deposisi partikel dengan menggunakan *particle-to-particle route* kedalam PS yang terbuat dari AAO, dimana *pre-synthesized particles* (Ag-Rhodamine) dideposisikan kedalam AAO substrat yang

mempunyai diameter rata-rata sebesar 5,5  $\mu$ m dengan menggunakan *electrospray*. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa partikel dapat dideposisikan ke dalam porous jika permukaan AAO tersebut dilapisi dengan material yang konduktif (Pt) dan substrat dihubungkan dengan negatif potential. Simulasi numerik dengan menggunakan COMSOL *Multiphysics* juga menunjukkan bahwa *electric field* yang bekerja pada sistem tersebut mampu untuk masuk kedalam porous jika AAO di seting sebagai konduktif material. Dengan mengasumsikan bahwa partikel akan mengikuti gerak *electric fields* tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa permukaan substrat yang sudah dilapisi dengan konduktif material akan meningkatkan gaya elektrostatis antara partikel bermuatan dengan substrat tersebut sehingga partikel dapat dideposisikan kedalam porous.

Namun simulasi yang dilakukan ini belum mensimulasikan gerakan partikel ke PS, karena hanya mensimulasikan garis gerak *electric* dari partikel tersebut. Untuk itu perlu dikembangkan penelitian lanjutan yang dapat memberikan informasi mengenai karakteristik dan pola alir dari partikel selama proses deposisi berlangsung. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan kondisi optimum pada deposisi aerosol partikel pada AAO substrat dengan menggunakan simulasi numerik dengan *software Computational FluidDynamics* (CFD). Diharapkan hasil simulasi ini bisa memberikan rekomendasi untuk menentukan kondisi optimum yang dilakukan dalam eksperimen untuk mendapatkan efisiensi deposisi yang paling besar, hal ini mengingat sulitnya mengontrol kestabilan dari generator secara eksperimen. Selain itu, hasil simulasi ini bisa digunakan untuk menerangkan mekanisme deposisi partikel yang terjadi didalam porous substrat. CFD merupakan *software* yang mendukung untuk mengamati pola alir yang kompleks dalam bentuk *visual* mengenai pergerakan partikel, memprediksi kemungkinan lintasan yang tidak stabil, memprediksi karakteristik Bergerak partikel yang dipengaruhi muatan listrik, dan mampu mengukur dan membandingkan pergerakan partikel dengan parameter kontrol yang mampu diatur dan diubah-ubah, seperti perbedaan muatan antar partikel, jumlah partikel, ukuran partikel, dan sebagainya.

## METODE PENELITIAN

CFD adalah teknik numerik untuk penyelesaian persamaan pengaturan aliran fluida didalam aliran fluida tertentu. Aliran fluida dapat digambarkan dengan menggunakan persamaan Navier's stoke. Persamaan ini diturunkan dengan mempertimbangkan kesetimbangan massa, momentum, dan energi di dalam elemen fluida, menghasilkan sejumlah penurunan persamaan parsial. Pada

model deposisi ini menggunakan persamaan kesetimbangan momentum. Model *Discrete Phase Model* (DPM) yang ada di FLUENT dipilih untuk menggambarkan *particles tracking* menggunakan Ohio Supercomputer Center (OSC). *Tracking* partikel dalam FLUENT dibagi menjadi dua fase: *carrier phase* dan *discrete phase*. Model DPM dalam *tracking* partikel menggunakan metode *Lagrangian* dan untuk medan aliran *carrier phase* diselesaikan terlebih dahulu untuk dapat mencapai kondisi *steady state* sebelum *discrete phase* dimasukkan ke dalam *carrier phase*. Partikel dianggap *discrete phase* karena *particle loading volume* diabaikan dalam semua kasus dibandingkan dengan volume *carrier phase*.

Medan aliran diasumsikan pada fase tunggal, *incompressible* dan *Newtonian*. Pengaruh partikel terhadap medan aliran diabaikan dan tidak diperhitungkan. Persamaan konservasi massa dan momentum dapat digunakan untuk semua jenis aliran dengan tambahan persamaan energi dapat digunakan untuk menyelesaikan suatu kasus dengan perpindahan panas atau kompresibilitas.

Persamaan yang digunakan untuk *carrier phase* berasal dari manual FLUENT adalah sebagai berikut:

$$\rho \left( \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) \quad (1)$$

Dimana  $u_i u_j$  adalah *Reynold stress*. Standar  $k-\epsilon$  *turbulence* model digunakan untuk persamaan diatas, dimana menggunakan Wilcox model. Energi kinetik turbulensi ( $k$ ) dan kecepatan spesifik disipasi ( $\epsilon$ ) didapatkan dari persamaan transport.

FLUENT memprediksi lintasan *discrete phase* partikel (*droplet*) dengan mengintegrasikan persamaan gaya yang bekerja pada partikel, yang ditulis dengan referensi model *Lagrangian*. Dimana pada persamaan gaya ini, inersia partikel dan gaya yang bekerja pada partikel, dapat ditulis dengan (untuk arah x dalam koordinat *Cartesian*) sebagai:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho)}{\rho} + F_x \quad (2)$$

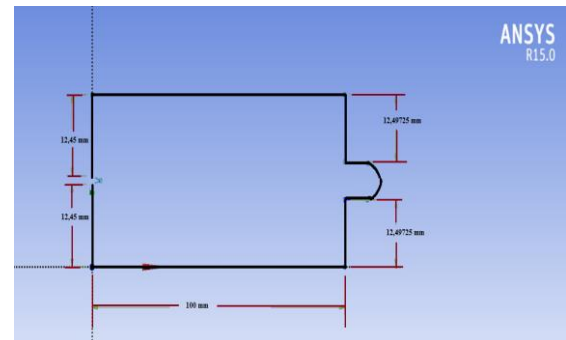
Persamaan yang terletak pada ruas kanan yang ada dipersamaan (2) merupakan gaya *drag* pada partikel per satuan massa partikel, efek gravitasi pada partikel, dan gaya  $F_x$  yang menunjukkan

semua gaya lainnya yang bekerja. Dalam simulasi ini, ada beberapa asumsi yang dibuat mengenai fase terdispersi berdasarkan kondisi eksperimental dan karakteristik partikel yang digunakan dalam percobaan:

- Partikel-partikel adalah *rigid sphere* dan mereka dianggap sebagai titik yang terletak di pusat bola.
- Kepadatan partikel lebih besar dari densitas fluida.
- Pengaruh kekasaran bahan tidak dipertimbangkan ketika partikel memantul pada dinding.

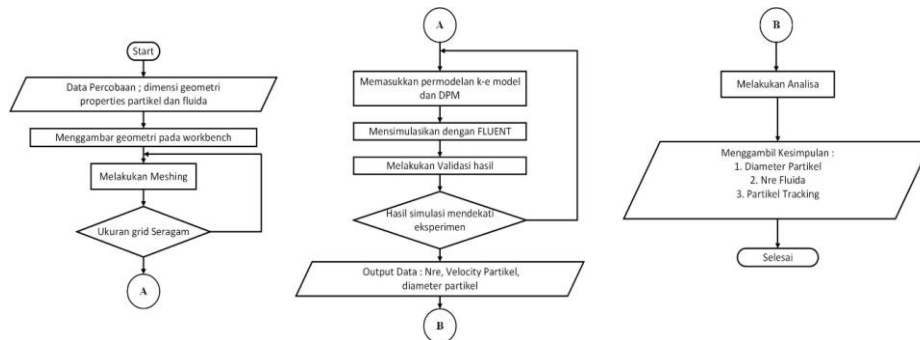
Untuk keakuratan data berupa *droplet drag coefficients* dalam permodelan deposisi partikel, digunakan *Dynamic Drag Model Theory*. Model ini bisa digunakan dalam berbagai kondisi. Diasumsi bahwa droplet tetap dalam bentuk spherical sepanjang domain. Untuk menentukan *drag coefficient* dari *spherical droplet* digunakan persamaan:

$$C_{d,sphere} = \begin{cases} 0,424, Re > 1000 \\ \frac{24}{Re} \left( 1 + \frac{1}{6} Re^{\frac{2}{3}} \right), Re \leq 1000 \end{cases}$$



**Gambar 1.** Dimensi simulasi deposisi partikel aerosol menggunakan CFD

Gambar 1 menunjukkann sistem dan dimensi yang digunakan untuk memodelkan deposisi aerosol partikel yang dihasilkan dari *electrospray* dalam sistem dua dimensi. Eksperimen set yang dimodelkan adalah berupa sebuah persegi panjang yang mewakili dari chamber. Kondisi batas yang digunakan adalah *porous structure* sebagai *collecting plate/substrate*, bagian atas, bawah, dan dinding sebagai *wall*, dan *cone jet* sebagai *inletparticles*. Sedangkan flowchart simulasi dengan menggunakan CFD ini digambarkan dalam Gambar 2.



**Gambar 2.** Flowchart simulasi deposisi aerosol partikel

Ada tiga tahapan utama pada FLUENT yang digunakan untuk mensimulasikan deposisi partikel ini, yaitu *pre-processing*, *solving*, dan *post-processing*. Langkah yang dilakukan pada tahap *pre-processing* adalah menggambar geometri fluida seperti Gambar 1 dan melakukan *meshing*. Selanjutnya pada tahap *solving*, dimasukkan permodelan yang sesuai dengan kondisi simulasi, untuk fluida, *viscous model* yang digunakan adalah untuk laminar dan turbulen, dan untuk partikelnya menggunakan *discrete phase model*. Tahap selanjutnya adalah tahap *post-processing* yaitu hasil dari *solving* yang berupa gambar vektor kecepatan fluida, distribusi kecepatan fluida, dan *particle tracking*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses deposisi partikel *aerosol* pada simulasi ini menggunakan partikel Ag (*Silver*) yang disiapkan dengan mencampur Ag *sol* dan rhodamine 6G yang merupakan *fluorescence material*. Pada metode eksperimen, *fluorescence material* digunakan agar partikel Ag yang terdeposisi pada *substrate* dapat diobservasi dengan menggunakan *fluorescence microscopy*. Fluida yang digunakan sebagai *sheat air* adalah karbon dioksida, sedangkan AAO digunakan sebagai *substrate* (Kusdianto et al., 2014a). Proses deposisi secara eksperimen yang akan disimulasikan menggunakan tekanan operasi 1 atm dan suhu 373 °K. Kondisi operasi 1 atm dipilih karena apabila kondisi deposisi pada keadaan vakum atau tekanan dibawah 1 atm, maka akan terdapat gaya tambahan yang timbul pada deposisi akibat gaya tarik yang muncul karena perbedaan tekanan operasi dengan kondisi sekitar dimana pada *chamber* deposisi terdapat aliran keluar *chamber*. Selain itu gaya tarik yang timbul dapat membuat gaya elektrik menjadi terabaikan karena gaya elektrik mungkin dapat jauh lebih kecil daripada gaya tarik akibat perbedaan tekanan. Temperatur 373 °K digunakan karena pada proses deposisi ini partikel diinjeksikan pada kondisi *droplet* yaitu campuran partikel Ag, rhodamine 6G dan air.

Sehingga digunakan temperatur 373 °K agar air dapat teruapkan dan kondisi partikel saat akan terdeposisi adalah kondisi *dryparticle*. Tujuan dibuat pada kondisi *dryparticle* agar *substrate* tidak rusak akibat dari *droplet* yang masih memiliki diameter cukup besar. Sehingga pada simulasi ini digunakan kondisi tekanan 1 atm dan temperatur 373 °K. (Kusdianto, 2014)

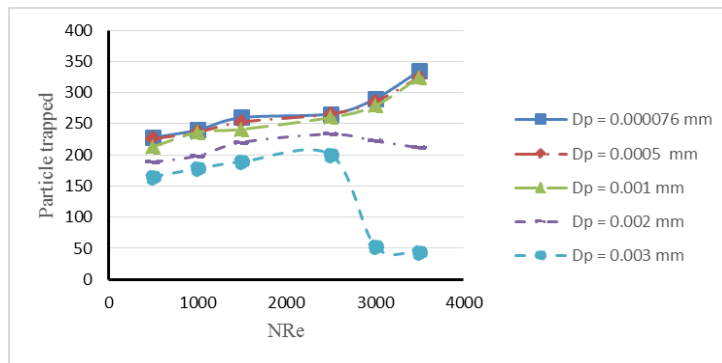
Pada simulasi CFD, eksperimen ini digambarkan dengan menggunakan permodelan *laminar* dan *turbulen* untuk kondisi fluida dimana  $N_{Re}$  dihitung berdasarkan diameter *chamber* dan *velocity fluida*. Setelah  $N_{Re}$  diketahui, permodelan *fluida* dapat dipilih.  $N_{Re}$  yang digunakan dari  $N_{Re}$  500-30.000. Pada kondisi *fluida laminar* menggunakan permodelan *laminar* sedangkan untuk kondisi *turbulen* menggunakan standar  $k-\epsilon$  *turbulen model*. Permodelan standar  $k-\epsilon$  dipilih karena relatif stabil dan hanya menggunakan tambahan 2 persamaan untuk diselesaikan sehingga tidak akan membuat *run model* terlalu lama. Kelemahan dari model ini adalah tidak mampu untuk memodelkan *swirling flow*, namun karena pada deposisi ini tidak terdapat *swirling flow* sehingga masih dapat digunakan. Model ini memiliki akurasi hasil yang baik pada *range turbulen* yang besar dan *pressure gradient* yang kecil. (Ansys Fluent Theory Guide, 2013)

Untuk memodelkan partikel digunakan model *lagrangian DPM (Discrete Phase Model)* dengan gaya yang bekerja pada partikel adalah *drag force* dan *electrical force*. Pendekatan model *lagrangian* dapat digunakan pada partikel yang terdispersi pada *carrier phase* dan *tracking partikel* secara individual. Pendekatan ini dapat digunakan apabila *volume fraction* dari partikel maksimum adalah 10% dari *carrier phase* sedangkan *volume fraction* pada deposisi ini adalah 0.000000028 %. (Heiredal, 2010) Fase Terdispersi pada permodelan ini juga dapat memodelkan terjadinya pertukaran momentum energi ataupun massa. Selain itu juga dapat digunakan untuk semua ukuran partikel dan juga memberikan informasi pada *boundary condition* sehingga cocok untuk model deposisi. Menurut (El-Batsh, 2002), Permodelan ini sudah terbukti dapat

dengan baik memodelkan deposisi *ash particle* pada *turbine cascades* dan disertai validasi dengan eksperimen.

Ukuran partikel memiliki peran penting dalam deposisi partikel, apabila ukuran partikel lebih besar daripada *pore* ataupun sama dengan *pore* tentu tidak akan terjadi deposisi. Apabila partikel semakin kecil maka semakin banyak yang dapat terdeposisi. Namun untuk membuat partikel berukuran sangat kecil sangatlah sulit. Sehingga perlu diketahui ukuran partikel optimum yang dapat dideposisikan.

Pada simulasi dengan CFD ini ukuran partikel divariasikan dari ukuran 0.000076 mm, 0.0005 mm, 0.001 mm, 0.002 mm, dan 0.003 mm dengan ukuran pore adalah 0.0055 mm. Jumlah Partikel yang diinjeksikan adalah 1000 partikel. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada kondisi *fluida laminair* dan transisi jumlah partikel yang terdeposisi semakin banyak saat  $NRe$  naik untuk partikel ukuran 0.000076 mm sampai 0.001 mm. Namun berbeda halnya untuk partikel dengan ukuran 0.002 dan 0.003, dimana saat nilai  $NRe$  transisi, jumlah partikel yang terdeposisi menurun.

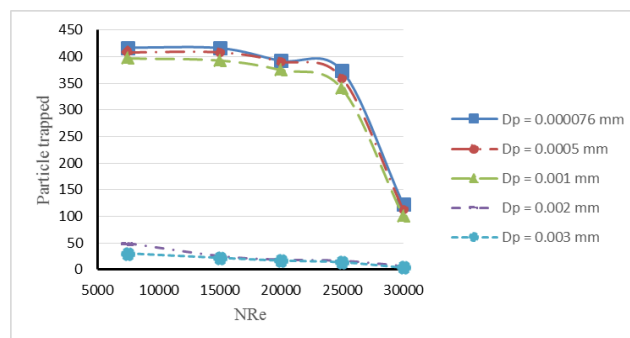


**Gambar 3.** Pengaruh diameter partikel pada kondisi laminair dan transisi

Jumlah terbesar partikel terdeposisi adalah saat ukuran partikel 0.000076 mm, yaitu 360 pada  $NRe$  3500. Namun untuk ukuran partikel 0.002 mm dan 0.003 mm jumlah partikel terdeposisi maksimal pada keadaan  $NRe$  2500, pada  $NRe$  diatas 2500 jumlah partikel terdeposisi semakin menurun. Hal ini dikarenakan ukuran partikel yang cukup besar bila dibandingkan dengan pore substrate sehingga hanya pada kondisi laminar dimana fluida bergerak lurus menuju pore diameter yang dapat terdeposisi optimum, saat transisi dimana mulai terdapat sangat sedikit turbulensi, pada ukuran partikel 0.002 mm dan 0.003 mm jumlah partikel terdeposisi mulai menurun.

Pada ukuran partikel 0.000076 mm sampai 0.001 mm memiliki selisih jumlah terdeposisi sangat kecil

hingga deviasi masih dibawah 5%. Sehingga untuk deposisi pada kondisi laminar dan transisi untuk partikel sampai ukuran 0.001 mm masih optimum untuk digunakan atau tidak jauh dengan ukuran partikel 0.000076 mm. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada  $NRe$  7500 adalah titik maksimum jumlah deposisi partikel untuk setiap ukuran partikel. Pada  $NRe$  15000 dapat dilihat sudah terjadi penurunan jumlah partikel yang terdeposisi hingga saat  $NRe$  29000 adalah titik terendah jumlah partikel yang terdeposisi dan penurunan jumlah yang paling besar mencapai 70% dari jumlah partikel terdeposisi sebelumnya



**Gambar 4.** Pengaruh diameter partikel pada kondisi aliran turbulen.

Pada ukuran partikel 0.000076 mm, 0.0005 mm dan 0.001 mm partikel yang terdeposisi masih optimum saat kondisi laminar, transisi dan sedikit turbulen pada NRe 7500 dan ketiga ukuran partikel hanya terdapat sedikit perbedaan jumlah yaitu dengan deviasi dibawah 5%. Sedangkan untuk ukuran partikel 0.002 mm dan 0.003 mm, partikel yang terdeposisi optimum pada kondisi laminar, saat transisi sudah mulai semakin kecil, hingga turbulen yang paling kecil.

Sehingga ukuran partikel optimum adalah maksimal 54% dari ukuran pore untuk aliran laminar, 36% untuk aliran transisi dan 18% saat keadaan NRe diatas 15000 atau turbulen, serta yang paling optimum adalah saat kondisi sedikit turbulen yaitu pada NRe 7500 untuk partikel ukuran maksimal 18% dari ukuran *pore*-nya.

Seperti telah dibahas sebelumnya, kondisi fluida *carrier phase* sangat mempengaruhi deposisi partikel, munculnya vorteks atau pusaran dapat membuat partikel terperangkap pada pusaran. Semakin besar pusaran atau vorteks tentunya membuat akan semakin sedikit partikel yang terdeposisi karena konsentrasi partikel lebih tinggi pada pusaran yang terbentuk.

Pada NRe laminar (500,1000,1500) pusaran yang terbentuk sangat kecil hanya pada dekat inlet partikel dan fluida memiliki velocity 0.01-0.02 m/s setelah melewati titik pusaran sehingga masih cukup banyak terdapat partikel yang terdeposisi antara 228-260 partikel. Pada aliran transisi pusaran yang terbentuk semakin membesar namun masih memberikan streamline yang lurus mulai dari tengah chamber hingga pore. Fluida *carrier phase* memiliki kecepatan yang lebih tinggi daripada aliran laminar yaitu 0.04-0.05 m/s sehingga jumlah partikel terdeposisi masih meningkat terus hingga mencapai 335 partikel. Pada aliran turbulen NRe 7500 dimana jumlah partikel terbanyak yang dapat terdeposisi mencapai 417 dapat dilihat memiliki velocity fluida hingga 0.11 m/s dan bentuk pusaran dan keluaran partikel dan fluida masih mengikuti aliran transisi dan laminar. (Yook, 2013)

Pada NRe 15000 hingga 25000 mulai terlihat keluaran partikel dan fluida mulai sedikit tertarik kesisi atas chamber dan semakin tinggi NRe semakin naik aliran fluida dan bentuk pusaran semakin membesar, hal ini menyebabkan jumlah partikel

terdeposisi menurun karena partikel terkonsentrasi/ terjebak pada pusaran yang cukup besar yang terjadi. Pada saat NRe 30000 pusaran yang terbentuk sangat besar seperti terlihat pada tengah-tengah chamber sehingga partikel yang terdeposisi sangat menurun drastis.

Pada diameter partikel yang lebih besar yaitu 0.0005 mm 0.001 mm, 0.002 mm, hingga 0.003 mm memiliki gerak fluida yang sangat mirip dengan ukuran partikel 0.000076 mm. Hal ini dikarenakan volume fraction diameter partikel terbesarpun masih sangat kecil yaitu  $2.88 \times 10^{-7}$  sehingga besar diameter partikel tidak terlalu mempengaruhi gerak fluida *carrier phase*. Fluida baru akan terpengaruh pada partikel apabila volume fraction partikel mencapai 10%. (Heiredal, 2010)

Sehingga untuk kondisi deposisi yang baik adalah saat gerak fluida *carrier phase* mengikuti aliran streamline laminar dan transisi dan terdapat sekecil mungkin pusaran serta memiliki kecepatan fluida dan partikel yang cukup tinggi. Disini dapat terlihat pada fluida NRe 7500 mencapai seluruh parameter tersebut yaitu dari keluaran jet masih memiliki streamline lurus, dan pusaran yang kecil, serta memiliki velocity fluida yang cukup tinggi yaitu 0.11 m/s.

## KESIMPULAN

Deposisi aerosol partikel kedalam *porous structures* (AAO substrat) yang mempunyai diameter porous sebesar 5,5  $\mu\text{m}$  telah berhasil diinvestigasi dalam penelitian ini dengan menggunakan simulasi secara numeric berbasis CFD secara dua dimensi. Jumlah partikel yang bisa dideposisikan kedalam porous sangat dipengaruhi oleh jenis aliran fluida sebagai gas pembawanya dan juga ukuran partikel. Ukuran partikel optimum adalah maksimal 54% dari ukuran pore untuk aliran laminar, 36% untuk aliran transisi dan 18% saat keadaan bilangan Reynold nya turbulen (>15000). Selain itu kondisi yang paling optimum dapat dicapai pada saat kondisinya sedikit turbulen (NRe = 7500) untuk partikel ukuran maksimal 18 % dari ukuran *pore*-nya. Ditinjau dari profil aliran yang ada, maka kondisi deposisi yang baik adalah saat gerak fluida *carrier phase* mengikuti aliran *streamline* laminar dan transisi, dimana terdapat sekecil mungkin pusaran serta memiliki kecepatan fluida dan partikel yang cukup tinggi.

#### Notasi

NOTASI	KETERANGAN	SATUAN
$C_d$	<i>Coefficient Drag</i>	[...]
$d_p$	<i>Particle diameter</i>	m
$F_D$	<i>Drag force on particle</i>	N
$K$	<i>Energy kinetic turbulent</i>	$m^2/s^2$
$m_p$	<i>Mass of particle</i>	kg
$Re_p$	<i>Reynolds number of the particle</i>	[...]
$S$	<i>Ratio of particle density to fluid density</i>	[...]
$T$	<i>Time</i>	s
$T$	<i>Gas temperature</i>	K
$T_p$	<i>Particle temperature</i>	K
$U$	<i>Fluid velocity</i>	m/s
$u_j$	<i>Instantaneous fluid velocity</i>	m/s
$u_p$	<i>Particle velocity</i>	m/s
$u_{tc}$	<i>Critical wall shear velocity</i>	m/s
$v_{cr}$	<i>Capture velocity</i>	m/s
$v_n$	<i>Normal velocity</i>	m/s
$E$	<i>Turbulent dissipation rate</i>	$m^2/s^3$
$\mu$	<i>Dynamic viscosity of fluid</i>	Kg/m.s
$\nu$	<i>Kinematic viscosity</i>	M2/s
$\nu_p$	<i>Poisson ratio of particle material</i>	[...]
$\nu_s$	<i>Poisson ratio of surfaces material</i>	[...]
$\omega$	<i>Specific dissipation rate</i>	$s^{-1}$
$\rho$	<i>Density of fluid</i>	Kg/m <sup>3</sup>
$\rho_p$	<i>Density of particle</i>	Kg/m <sup>3</sup>

$\tau_{12}$	<i>Particle relaxation time</i>	s
$\tau_w$	<i>Wall shear stress</i>	Pa
$A$	luas permukaan	m <sup>2</sup>
$\vec{F}$	Additional acceleration term	Force/unit particle mass
$G$	Konstanta gravitasi	m/s <sup>2</sup>
$N$	Jumah Droplet dalam 1 cell	[...]
$P$	Pressure	Pa
$Pr$	Prandtl number	[...]
$Re$	Reynold Number	[...]
$S_k$	User defined source Term	[...]
$\varepsilon$	dissipation rate dari energi kinetik turbulen	$m^2/s^3$
$\varepsilon_p$	emisivitas partikel	[...]
$\sigma$	konstanta Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8}$ )	W/m <sup>2</sup> -K <sup>4</sup>
$H$	Effectiveness factor	[...]
$\theta_R$	Temperatur radiasi	K
$\delta_{ij}$	Kronecker delta	[...]

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bogart, T.E., Dey, S., Lew, K. K., Mohnet, S. E., and Redwing, J. M. 2005. "Diameter-controlled synthesis of silicon nanowires using nanoporous alumina membranes". *Advanced Materials*, 17, 114-117.
- Hereidal, M. L. 2010. *Particle Dynamics in Monolithic Catalyst*. Ph. D Thesis Technical University of Denmark, Department of Chemical and Biochemical Engineering: Tidak Diterbitkan
- Ishikawa, Y., and Matsumoto, Y. 2001. "Electrodeposition of TiO<sub>2</sub> photocatalyst into nano-pores of hard alumite". *Electrochimica Acta*, 46,2819–2824.

- Kusdianto, K., Gen, M., Tsukada, M., and Lenggoro, I.W. 2014b. "Insertion of pre-synthesized particles in the pores of a honeycomb structure by an aerosol process". *Journal of the Society Powder Technology Japan*, 51, 759-764.
- Kusdianto, K., Nazli Naim, M., Sasaki, K., and Lenggoro, I.W. 2014a. "Immobilization of colloidal particles into sub-100 nm porous structures by electrophoretic methods in aqueous media". *Colloid and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 459, 142-150.
- Kyotani, T. 2002. "Chemical modification of carbon-coated anodic alumina films and their application to membrane filter". *Journal of Membrane Science*, 196, 231-239.
- Losic, D., Cole, M. A., Dollmann, B., Vasilev, K., and Griesser, H. J. 2008. "Surface modification of nanoporous alumina membranes by plasma polymerization". *Nanotechnology*, 19, 245-254.
- Matsumoto, Y., Ishikawa, Y., and Nishida, M. 2000. "A new electrochemical method to prepare mesoporous titanium (IV) oxide photocatalyst fixed on alumite substrate". *Journal of Physical Chemistry*, 104, 4204-4209.
- Wong-ek, K. et al. 2010. "Silver nanoparticles deposited on anodic aluminium oxide template using magnetron sputtering for surface-enhanced Raman scattering substrate". *Thin Solid Films*, 518, 7128-7131.
- Yook, S. J., Asbach, C., and Ahn, K. H. 2010. "Particle deposition velocity onto a face-up flat surface in a laminar parallel flow considering Brownian diffusion and gravitational settling". *Journal of Aerosol Science*, 41, 911-920.